

УДК 519.86:004.827

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27915

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАМОВЛЕННЯ ТОВАРІВ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ ШТРАФНИХ ФУНКЦІЙ

О. В. Єгорова

Асистент*

E-mail: yegorovaov@gmail.com

І. О. Пасішний*

*Кафедра інформаційних
технологій проектуванняЧеркаський державний
технологічний університет

бул. Шевченко, 460, м. Черкаси, Україна, 18006

У статті запропоновано метод штрафних функцій, призначений для використання з еволюційними алгоритмами, який базується на нечіткій логіці. Досліджено алгоритм його реалізації в повному просторі пошуку можливих розв'язків. Розглянуто аспекти програмної реалізації методу. Виконано експериментальну верифікацію методу та наведено результати порівняльного аналізу з динамічними та адаптивними штрафними функціями

Ключові слова: генетичні алгоритми, штрафні функції, замовлення товарів, кредит, дефіцит, природний убуток, вхідний контроль, брак

В статье предложен метод штрафных функций, предназначенный для использования с эволюционными алгоритмами, который базируется на нечеткой логике. Исследован алгоритм его реализации, в основе которого находится полное пространство поиска возможных решений. Рассмотрены аспекты программной реализации метода. Выполнена экспериментальная верификация и приведены результаты сравнительного анализа с динамическими и адаптивными штрафными функциями

Ключевые слова: генетические алгоритмы, штрафные функции, заказ товаров, кредит, дефицит, естественная убыль, входной контроль, брак

1. Вступ

Оптимальне управління запасами є однією з передумов ефективного функціонування будь-якої торговельної компанії. Більшість існуючих моделей і методів управління запасами орієнтовані на використання суб'єктами господарювання лише власних коштів і не враховують того, що у разі нестачі обігових коштів суб'єкти господарювання здійснюють взаємні розрахунки на основі кредиту. Тому проблема визначення моментів часу і обсягів замовлення товарів на поповнення запасів із застосуванням зовнішніх джерел фінансування залишається відкритою.

2. Огляд літературних джерел

Застосування математичного моделювання на базі сучасної обчислювальної техніки могло б дозволити швидко і достатньо точно оцінювати результати прийняття рішень щодо запасів з урахуванням конкретних умов. Так, значних результатів за кордоном досягнуто при побудові моделей визначення оптимального обсягу замовлення товарів у кредит з урахуванням збитків внаслідок змін їх природних властивостей [1–5], інфляції [6] або помилок вхідного контролю [7]. При розробці моделей замовлення товарів, які здатні втрачати природні властивості, вчені, як правило, обчислюють величину природних втрат запасів за експоненціальним законом або законом розподілу Вей-

була, але рекомендацій щодо того, яку саме функцію розподілу доцільно використовувати для конкретного типу продукції немає.

Незважаючи на чисельність модифікованих моделей визначення економічного обсягу замовлення, основну частину яких складають однопродуктові моделі, їх негативним аспектом є врахування лише однієї-двох із множини властивостей логістичного бізнес-середовища.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є формалізація методу перетворення задачі умовної оптимізації замовлення товарів з відтермінуванням сплати вартості поставки при врахуванні невідповідності певної кількості придбаних товарів стандартам якості, фактору часу при здійсненні фінансових розрахунків та інфляції в задачі безумовної оптимізації з використанням штрафних функцій.

Для досягнення мети в дослідженні поставлені і розв'язані такі задачі:

- виконати аналітичний огляд еволюційних методів розв'язання задач з обмеженнями;
- здійснити формалізацію методу штрафних функцій, що може використовуватися з еволюційними алгоритмами для розв'язання задач з обмеженнями;
- розв'язати задачу визначення оптимального обсягу замовлення товарів з обмеженнями.

4. Постановка задачі визначення оптимального обсягу замовлення товарів у кредит з урахуванням помилок вхідного контролю та вартості грошей у часі

Пропонована загальна постановка задачі визначення оптимального обсягу замовлення товарів з відтермінуванням сплати вартості поставки при врахуванні невідповідності певної кількості придбаних товарів стандартам якості, фактору часу при здійсненні фінансових розрахунків та інфляції наведена в [8]. Торговельна організація в умовах тимчасової нестачі оборотних коштів планує поповнити запаси певного виду продукції здійснивши запозичення у формі комерційного кредиту. Прийнятні витрати, пов'язані із придбанням запасів, становлять від E_{\min} до E_{\max} . Кредитування здійснюється на термін від початку фактичного постачання до завершення реалізації наданих у позичку товарів. Частину кредиту у розмірі вартості продукції, реалізованої протягом пільгового періоду M , необхідно повернути після закінчення цього періоду, а залишок боргу сплатити в кінці терміну кредитування. Відсотки за користування позицією протягом одиниці часу i_p нараховуються після закінчення пільгового періоду відстрочення M на залишкову суму вартості поставки. Базова кредитна ставка i_p може бути зменшена до величини i_w з моменту N , за умови повернення кредитором вартості реалізованих за період від M до N товарів.

Замовлення на постачання виконуються із сталою інтенсивністю λ . Зважаючи на габаритні розміри b, c, d одиниці продукції, для зберігання запасів необхідно відвести складське приміщення місткістю W . Товари, що є предметом договору поставки, здатні втрачати природні властивості, а при їх прийманні можуть бути виявлені браковані одиниці. Для забезпечення належного рівня обслуговування p_s безпосередніх споживачів, гранично допустима кількість бракованих виробів у партії поставки не повинна перевищувати u одиниць. Достовірність вхідного контролю якості спотворюється визнанням придатної продукції такою, що має виробничі дефекти, а продукції з виробничими дефектами – бездефектною. Постачальник зобов'язується усунути недоліки (доукомплектувати) або замінити товари з виробничими дефектами. При виявленні товарів неналежної якості серед тих, що були одержані для врегулювання рекламаций, їх вартість не включається до суми поставки і вони не повертаються постачальнику. Інші видатки, зумовлені допущенням помилок при перевірці якості продукції, сплачуються підприємством-замовником.

Попит на продукцію D є рівномірно розподіленим на інтервалі часу між суміжними поставками, можливе існування дефіциту. Товари з дефектами, в тому числі, повернені споживачами, реалізуються в кінці операційного циклу. Використовуючи виручку від реалізації в економічному процесі як інвестиційний ресурс, торговельне підприємство одержить додатковий прибуток у вигляді i_e відсотків за одиницю часу.

Припускається, що темп інфляції протягом одиниці часу становитиме τ відсотків.

Необхідно визначити обсяг замовлення товарів для поповнення запасів та тривалість операційного циклу, за яких рентабельність продажу буде максимальною.

Розглянемо випадок, коли товари для врегулювання рекламаций будуть одержані до вичерпання наданих у позику товарів після завершення їх вхідного контролю. Тоді замовлення на постачання товарів, яке виконується зі сталою інтенсивністю λ одиниць за одиницю часу, буде здійснено, коли рівень незадоволеного попиту становитиме I_b . З моменту початку постачання протягом $[0; t_1]$ з інтенсивністю $((1-\beta)(1-a_1)+\beta \cdot a_2)\lambda - D$ відбуватиметься подолання дефіциту, а потім на інтервалі $[t_1; t_2]$ з інтенсивністю $((1-\beta)(1-a_1)+\beta \cdot a_2)\lambda - D - \gamma \cdot \theta \cdot I$ накопичуватиметься запас товарів належної якості, який після завершення постачання досягне рівня I_m , де θ – швидкість втрачання товаром природних властивостей за одиницю часу, γ – частка товарних запасів, що будуть утилізовані за одиницю часу. Далі внаслідок споживання та природного зменшення на інтервалі часу $[t_2; t_3]$ запас поступово вичерпуватиметься і на момент поставки товарів для врегулювання рекламаций, яка буде здійснена протягом $[t_3; t_4]$, становитиме I_s , а після її завершення I_r . Потім в процесі задоволення споживчого попиту та природного зменшення на інтервалі $[t_4; t_5]$ запас скоротиться до нуля і, будучи відсутнім протягом $[t_5; T]$, призведе до втрати частини продажів.

Задача визначення оптимальних параметрів операційного циклу зводиться до такої оптимізаційної задачі [8]:

$$\max_{I_b, I_m, I_s} ROS_j(I_b, I_m, I_s) = \begin{cases} ROS_1(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < t_3 < T, \\ ROS_2(I_b, I_m, I_s), & t_3 \leq M < t_4 < T, \\ ROS_3(I_b, I_m, I_s), & t_4 \leq M < t_5 < T, \\ ROS_4(I_b, I_m, I_s), & t_5 \leq M < T, \\ ROS_5(I_b, I_m, I_s), & M > T, \\ ROS_6(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < N < t_3 < T, \\ ROS_7(I_b, I_m, I_s), & t_3 \leq M < N < t_4 < T, \\ ROS_8(I_b, I_m, I_s), & t_4 \leq M < N < t_5 < T, \\ ROS_9(I_b, I_m, I_s), & t_5 \leq M < N < T, \\ ROS_{10}(I_b, I_m, I_s), & N > M > T, \\ ROS_{11}(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < t_3 < N < t_4 < t_5 < T, \\ ROS_{12}(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < t_3 < t_4 < N < t_5 < T, \\ ROS_{13}(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < t_3 < t_4 < t_5 < N < T, \\ ROS_{14}(I_b, I_m, I_s), & t_3 \leq M < t_4 < N < t_5 < T, \\ ROS_{15}(I_b, I_m, I_s), & t_3 \leq M < t_4 < t_5 < N < T, \\ ROS_{16}(I_b, I_m, I_s), & t_4 \leq M < t_5 < N < T, \\ ROS_{17}(I_b, I_m, I_s), & t_2 \leq M < t_3 < t_4 < t_5 < T < N, \\ ROS_{18}(I_b, I_m, I_s), & t_3 \leq M < t_4 < t_5 < T < N, \\ ROS_{19}(I_b, I_m, I_s), & t_4 \leq M < t_5 < T < N, \\ ROS_{20}(I_b, I_m, I_s), & t_5 \leq M < T < N, \end{cases} \quad (1)$$

при обмеженнях:

– вартість поставки має відповідати потребам позичальника

$$E_{\min} \leq P_c \leq E_{\max},$$

– загальний обсяг закупаються запасів не повинен перевищувати місткості складських приміщень

$$b \cdot c \cdot d \cdot \lambda \cdot (t_1 + t_2) \leq W,$$

– витрати на зберігання запасів не повинні перевищувати їх вартості

$$C_h < P_c,$$

– необхідний належний рівень обслуговування покупців:

$$P\left(a_2 \leq 1 - \frac{u+1}{\beta \cdot \lambda(t_1 + t_2)}\right) \leq p_s,$$

де $ROS_j(I_b, I_m, I_s)$, $j=1,2,\dots,20$ обчислюється за формулою

$$ROS_j(I_b, I_m, I_s) = \frac{\left(\begin{array}{l} (R_s)_j - K - (P_c)_j - C_{si} - \\ - C_{rg} - C_h - C_d - C_s - C_{un} - \\ - C_{adi} - C_{rnd} - IP_j + IE_j \end{array} \right)}{(R_s)_j},$$

де β – ймовірність виявлення товарів неналежної якості при здійсненні вхідного контролю; a_2 – ймовірність визнання продукції з дефектами придатною; R_s – дохід від реалізації продукції; K – витрати на оформлення замовлення; P_c – витрати, пов'язані із придбанням товарних запасів; C_{si} – витрати на здійснення вхідного контролю якості продукції; C_{rg} – витрати на повернення виробнику бракованих виробів; C_h – витрати, пов'язані із зберіганням товарних запасів; C_d – збитки, внаслідок втрачання продукцією природних властивостей; C_s – збитки, зумовлені вичерпанням товарних запасів; C_{un} – збитки, зумовлені зверненням покупців до інших продавців аналогічного товару у разі вичерпання запасів; C_{adi} – збитки від визнання придатної продукції такою, що має дефекти; C_{rnd} – збитки від визнання дефектної продукції такою, що не має дефектів; IP – відсотки за користування кредитом; IE – відсотки від розміщення на депозиті виручки від реалізації.

5. Формалізація нечітких штрафних функцій призначених для використання в еволюційних алгоритмах

Різні аспекти класифікації методів оптимізації розглядалася в [9–11]. Розроблені зарубіжними вченими еволюційні методи умовної оптимізації ґрунтуються на п'яти підходах [12, 13]:

– використання штрафних функцій;

– спеціальне подання параметрів та розробка відповідних операторів;

– регенерування;

– відокремлене опрацювання цільових функцій та обмежень;

– опрацювання кожного обмеження як об'єкту;

– поєднанні еволюційних алгоритмів з методами чисельної оптимізації.

Численні дослідження різних вчених свідчать про те, що спеціальні подання і оператори корисні у прикладних задачах, для яких вони були розроблені, але їх не можна пристосувати для розв'язання інших задач. Реалізація регенеруючих алгоритмів може виявитися складнішою розв'язання самої задачі. Найефективнішим способом відшукування оптимуму задачі з обмеженнями є використання адаптивних та проблемно-орієнтованих штрафних елементів.

У методах штрафних функцій передбачено перетворення задачі умовної оптимізації на еквівалентну задачу безумовної оптимізації введенням зовнішніх штрафних функцій виду:

$$\Phi(x) = f(x) \pm \left[\sum_{i=1}^n r_i \times G_i + \sum_{j=1}^p c_j \times L_j \right], \quad (2)$$

де $\Phi(x)$ – очікуване значення цільової функції, оптимум якої треба знайти; $f(x)$ – цільова функція; G_i – функції обмежень-нерівностей $g_i(x) \leq 0$, $i=1,\dots,n$; L_j – функції обмежень-рівностей $h_j(x)=0$, $j=1,\dots,p$; $a(l) \leq x_l \leq b(l)$, $1 \leq l \leq t$, r_i і c_j – штрафні коефіцієнти (додатні константи).

Функції обмежень у вигляді нерівностей G_i і рівностей L_j обчислюються за формулами:

$$G_i = \max[0, g_i(x)]^b,$$

$$L_j = |h_j(x)|^\gamma,$$

де β і γ найчастіше набувають значень 1 або 2.

Надання переваги зовнішнім штрафним функціям перед внутрішніми штрафними функціями, зумовлено тим, що вони не потребують оптимального вибору початкової точки пошуку. Відомо, що такі задачі є NP-складними.

Штрафні функції бувають статичними, динамічними, випалюючими, адаптивними, ко-еволюційними, сегрегаційними і летальними. Разом з тим, основною проблемою, що супроводжує використання штрафних функцій в методах оптимізації, є чутливість якості розв'язку до вибору окремих параметрів штрафних елементів, способи обчислення яких відомі не завжди.

Альтернативою таким штрафним функціям запропоновано використовувати підхід, головна ідея якого полягає у заміні обмежень виду $g_i(x) \leq 0$, $i=1,\dots,n$, множиною нечітких змінних C_1, \dots, C_m , $k=1,\dots,m$:

$$\mu_{C_k}(x) = \mu_{\sigma(b_k, \epsilon_k)}(g_k(x)), \quad k=1,\dots,m, \quad (3)$$

де ϵ_k – додатне дійсне число, як визначає дозволена похибка порушення обмеження:

$$\mu_{\sigma(a,b,c,d)}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq b-a, \\ \frac{e^{x-b+a}}{2b}, & b-a < x \leq b, \\ \frac{1}{2}, & b < x \leq c, \\ \frac{e^{x-c}}{2c}, & c < x \leq d, \\ 0, & d+c < x. \end{cases} \quad (4)$$

Функція пристосованості обчислюється за формулою:

$$\phi(x) = f(x) \times \min(\mu C_1(x), \dots, \mu C_m(x)). \quad (5)$$

Основна ідея цього процесу фазифікації – дозволити максимальній величині невиконання обмеження $g_i(x)$ наблизитися до величини b_i , а потім при зростанні помилка стрімко її зменшувати.

Результати реалізації генетичних алгоритмів з використанням запропонованих нечітких штрафних функцій, у порівнянні з результатами одержаними при використанні динамічних та адаптивних штрафних функцій, свідчать про скорочення часу пошуку розв'язку задачі.

6. Генетичний алгоритм розв'язання задачі визначення оптимального обсягу замовлення товарів

Генетичний алгоритм як еволюційний метод оптимізації метод був запропонований Девідом Голдбергом в лабораторії генетичних алгоритмів Іллінойського університету [14]. Генетичні алгоритми – це алгоритми пошуку, що містять в основі природні механізми еволюції: схрещування, мутацію і принципи виживання найсильніших представників популяції (природний відбір). Вони широко застосовуються для розв'язання задач багатовимірної оптимізації з мультимодальними цільовими функціями, для яких немає відповідних нееволюційних методів розв'язання; стохастичних задач; динамічних задач з блукаючим оптимумом; задач комбінаторної оптимізації; задач прогнозування і розпізнавання образів.

В реалізованому генетичному алгоритмі хромосома подається у вигляді двійкової послідовності чисел і містить потенційні значення змінних I_b , I_m , I_s . Кількість розрядів двійкового представлення залежить від необхідної точності розв'язку. Хромосоми, що не задовольняють обмеження моделі (1) не розглядаються.

Робота генетичного алгоритму починається із формування батьківських пар. Хромосоми для наступної ітерації відбираються за методом панміксії. Потім з ймовірністю P_c виконується одноточковий оператор кроссоверу в якому точка розриву хромосоми визначається випадковим чином. Кроссовер – це операція, за якою з двох хромосом народжується одна або кілька нових хромосом. В загальному випадку кроссовер може бути одноточковим, двоточковим та багатоточковим.

Для попередження потрапляння алгоритму в локальний оптимум передбачено виконання процедури мутації. Мутація – це перетворення хромосоми, що випадковим чином змінює одну або кілька її позицій.

Відбувається вона з ймовірністю за такою схемою. Для кожного гену хромосоми генеруємо випадкове число з інтервалу (0;1). Якщо згенероване число більше ніж ймовірність мутації P_m , то зміна гена відбувається, в протилежному випадку – не відбувається.

Нова популяція формується лише з найкращих членів репродукційної групи, яка об'єднує у собі батьків, дітей і «мутантів».

Критерієм завершення процесу пошуку оптимального розв'язку є виконання однієї з умов:

- досягнення бажаного значення функції пристосованості;
- стабілізація пристосованості популяції на декількох епохах;
- вибіркова популяція містить однакові елементи;
- досягнення максимального числа епох (поколінь) функціонування алгоритму;
- вичерпання максимального часу функціонування алгоритму.

В загальному випадку реалізація генетичного алгоритму, що здійснена в дослідженні, визначена такою послідовністю кроків.

1. Встановити значення параметрів P_c , P_m та випадковим чином сформувати початкову популяцію, що складається з k індивідів (індивіди повинні задовольняти обмеження).
2. Обчислити пристосованість кожного індивіда та популяції в цілому.
3. Вибрати батьківську пару.
4. З певною ймовірністю P_m виконати оператор кроссоверу.
5. З ймовірністю 0,5 відібрати одного індивіда з батьківської пари і з певною ймовірністю P_m виконати оператор мутації.
6. Помістити отриману хромосому в нову популяцію.
7. Виконати операції починаючи з кроку 3, t раз.
8. Якщо виконується умова зупинки, то завершити роботу, інакше перейти на крок 3.

7. Висновки

В статті наведена задача визначення оптимального обсягу замовлення товарів з відтермінуванням сплати вартості поставки при врахуванні помилок вхідного контролю, фактору часу при здійсненні фінансових розрахунків та інфляції. Розв'язання цієї задачі є складним нетривіальним процесом, який вимагає застосування еволюційних методів оптимізації, що не залежать від вибору початкової точки та не вимагають виконання додаткових обмежень на характеристики цільової функції.

Як правило, еволюційні методи умовної оптимізації ґрунтуються на таких підходах: використання штрафних функцій, спеціальне подання параметрів, розробка відповідних операторів, відокремлене опрацювання цільових функцій та обмежень, поєднанні еволюційних алгоритмів з методами чисельної оптимізації. Найефективнішим способом відшукування оптимального розв'язку з обмеженнями є використання адаптивних та проблемно-орієнтованих штрафних елементів. Разом з тим, основною проблемою, що супроводжує їх використання в методах оптимізації, є чутливість якості розв'язку до вибору окремих параметрів штраф-

них елементів, способи обчислення яких відомі не завжди. Альтернативою таким штрафним функціям запропоновано використовувати підхід, головна ідея якого полягає у заміні обмежень у вигляді нерівностей множиною нечітких змінних.

Результати реалізації генетичних алгоритмів з використанням запропонованих нечітких штрафних функцій, у порівнянні з результатами одержаними

при використанні динамічних та адаптивних штрафних функцій, свідчать про скорочення часу пошуку розв'язку задачі.

Перспективним напрямком досліджень є композиційне застосування еволюційного моделювання та нечіткої логіки. Визначення порядку такого використання, оптимізація параметрів, дослідження точності становить актуальну самостійну наукову задачу.

Література

1. Рыжиков, Ю. И. Теория очередей и управления запасами [Текст] / Ю. И. Рыжиков. — СПб : Питер, 2001. — 384 с.
2. Jaber, M. Y. Inventory management: non-classical view [Text] / M. Y. Jaber. — Boca Raton : CRC Press Taylor Francis Group, 2009. — 228 p.
3. Chung, K. J. Lot-sizing decisions under trade credit depending on the ordering quantity [Text] / K. J. Chung, J. J. Liao // Computers & Operation Research. — 2004. — Vol. 31, Issue 6. — P. 909–928. doi: 10.1016/s0305-0548(03)00043-1
4. Shah, N. H. Optimal inventory policies for Weibull deterioration under trade credit in declining market [Text] / N. H. Shah, N. Raykundaliya // Indus Journal of Managment & Social Sciences. — 2009. — Vol. 3, Issue 2. — P. 11–20.
5. Tripathy, C. K. An EOQ model for three parameter Weibull deterioration with permissible delay in payments and associated salvage value [Text] / C. K. Tripathy, L. M. Pradhan // International Journal of Industrial Engineering Computations. — 2012. — Vol. 3, Issue 2. — P. 115–122. doi: 10.5267/j.ijiec.2011.07.004
6. Hou, K. L. A cash flow oriented EOQ model with deteriorating items under permissible delay in payments [Text] / K. L. Hou, L. C. Lin // Journal of Applied Sciences. — 2009. — Vol. 9, Issue 9. — P. 1791–1794. doi: 10.3923/jas.2009.1791.1794
7. Hsu, J.-T. Two EPQ models with imperfect production processes, inspection errors, planned backorders, and sales returns [Text] / J.-T. Hsu, L.-F. Hsu // Computers & Industrial Engineering. — 2013. — Vol. 64, Issue 1. — P. 389–402. doi: 10.1016/j.cie.2012.10.005
8. Yegorova, O. Fuzzy expected value model with inspection errors and two level of trade credit in one replenishment cycle [Text] / O. Yegorova // Information Models and Analyses. — 2014. — Vol. 3, Issue 1. — P. 37–52.
9. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Текст] : навч. пос. / С. О. Субботін. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. — 341 с.
10. Weise, T. Global optimization algorithms – Theory and application [Electronic resource] / T. Weise. — Available at : <http://it-weise.de/projects/book.pdf/> — 06.10.2014 p. — Title on a display
11. Brownlee, J. Clever algorithms: Nature-inspired programming recipes [Text] / J. Brownlee. — Melbourne : LuLu, 2011. — 436 p.
12. Kramer, O. A review of constraint-handling techniques for evolution strategies [Text] / O. Kramer // Applied computational Intelligence and Soft Computing. — 2010. — Vol. 2010. — P. 1–11. doi: 10.1155/2010/185063
13. Coello Coello, C. A. Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: A survey of the state of the art [Text] / C. A. Coello Coello // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 2002. — Vol. 191, Issue 11-12. — P. 1245–1287. doi: 10.1016/s0045-7825(01)00323-1
14. Goldberg, D. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning [Text] / D. Goldberg. — Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.